

シールドマシン引抜き工事（その１－施工基準の算定－）

(社)日建経中技研 正○篠崎哲也 正 榎原健治 正 岩淵常太郎 正 加藤修一
馬淵建設(株) 片野孝治

1. はじめに

シールドマシンが地中埋設物に遭遇した。このためシールドマシンおよび管体一式を一旦、撤去することになった。シールド機後退に伴い発生する地中空洞による地山の安定設計法として3次元有限要素法による弾性解析を適用し施工基準を算定した。次ぎに粘土の力学モデルを適用し有限要素法により地盤の塑性破壊および沈下を求め、結果をもとに施工計画を立て工事を無事終了させた。工事概要を報告する。

2. 工事概要

泥濃式推進（ヒューム管推進工法 $\phi 1,650$ ）による地中掘削の進捗状況を図-1の平面図に示す。推進計画はスパン85.3mで、発進口から直線区間が15m、曲率40mの曲線が27m、最後に直進区間が43.3mと続く。遺物の接触点は曲線区間のほぼ中間点となる。

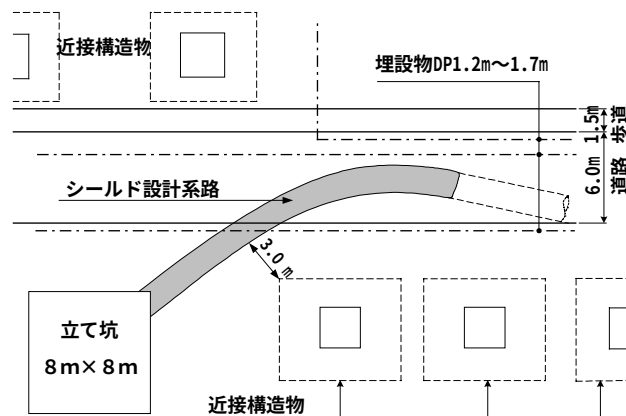


図-1 工事概要平面図

図に示すように周辺は重要構造物の基礎があり、推進機が最も接近する水平距離は3.0mとなる。そのほかに複数の地中埋設管が掘削部の上に確認されている。

<地盤条件>

推進部の地層を図-2に示す。推進の位置は発進部で8.46mであり、層厚0.9mの砂層に位置し、上下に沖積粘土層が堆積している。地下水位は埋め戻し層の下面付近にある。

<ヒューム管撤去状況>

地中に設置されたヒューム管は発進口まで全て撤去するよう計画された。この作業は鋼棒を発進立坑の支点梁と推進機に連結し、梁に取り付けられた油圧ジャッキで引張り、推進管を後退させる方法でおこなう。推進機の後退により発生する地下空洞には、空洞の崩壊と天端の沈下を抑制するため圧力を加えた充填材（埋戻し材）を適宜注入する。

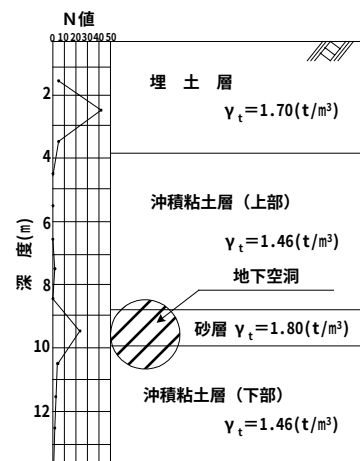


図-2 シールド位置および地層

3. 地下空洞の解析

地下空洞拡大に伴う周辺地盤のゆるみを3次元理想地盤で調べ、2次元横断面縦断面平面ひずみ解析結果と比較する。

<3次元理想地盤での一般的な傾向>

3次元弾性解析で地下空洞による地山のゆるみを調べた。地盤は単一層としてあつかった。空洞の直径Dは1.0m、土被りH=5.0mである。シールドマシン引抜き時の鉛直応力分布を図-3に示す。地下空洞が拡大すると、アーチ効果は縦断方向よりも横断方向に大きく作用した。縦断方向のアーチ作用はほとんど見込めなかった。

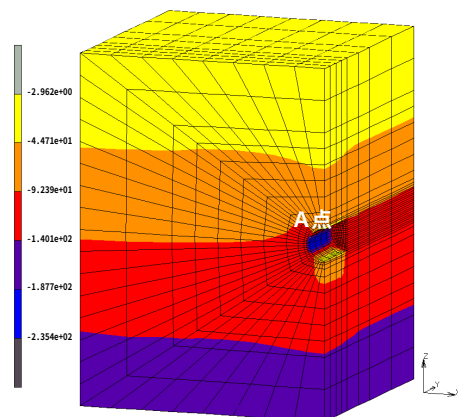


図-3 地下空洞に対する3次元空間での土かぶり圧分布

地盤定数を変えて、空洞天端の沈下を比較した。ヤング係数は10,000 kN/m², 5,000 kN/m²,

キーワード：推進工事、有限要素法、応力開放率、施工計画、沖積粘土地盤、地下空洞

連絡先：〒108-0075 東京都港区港南 1-6-34 TEL 03-3458-1011 FAX 03-3458-6321

3,000 kN/m²と変化させ、ポアソン比 ($\nu = 0.45$)、湿潤密度 ($\gamma_t = 1.6 \text{ t/m}^3$) は一定値とした。引抜き時、充填材によって空洞にかかる圧力 P は 60 kPa, 30 kPa の 2 パターンで計算した。図-3 地下空洞天端中央(A点)の沈下を図-4 に示す。圧力 $P = 60 \text{ kPa}$ よりも $P = 30 \text{ kPa}$ の方が、沈下量は大きい。ヤング係数が 10,000 kN/m² から 5,000 kN/m² に減少すると、沈下比は約 2 倍になるが、10,000 kN/m² と 3,000 kN/m² を比較した場合、沈下比は必ずしも 3 倍にはならず 4 倍程度となった。

<実務上必要な2次元解析の留意点>

引抜きの解析を2次元で行う場合の留意点を3次元解析結果から求めた。ヤング係数 5,000 kN/m²、ポアソン比 0.45、湿潤密度 1.6 t/m³、土被り厚 5.0 m、空洞直径 1.0 m の弾性体モデルである。3次元解析結果と2次元平面ひずみ横断面および縦断面の沈下比を図-5 に示す。3次元解析の結果は2次元横断面解析結果に収束していき、2次元縦断面解析結果とはまったく異なる傾向を見せた。よって、縦断面での引抜き解析は適用できなかった。検討対象が沖積粘土層である場合、3次元解析結果と2次元横断面解析結果はほぼ同等の値となった。

4. 当該工事の施工基準の算定

当該工事での地下空洞の拡大による沈下を3次元解析と2次元解析で比較し、空洞周辺の破壊接近度より当該工事での施工基準を検討した。結果を図-6 に示す。表-1 に解析条

表-1 解析条件一覧

土層	湿潤密度 γ_t (t/m ³)	弾性係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 c_0 (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	強度増加率 $K^{1)}$ (%)	解析条件
埋土	1.7	10,000	0.3	***	***	***	弾性
沖積粘土層(上部)	1.46	2,800	0.45	22.2	0	0.3	弾塑性
砂層	1.8	10,000	0.3	0	30	***	弾性
沖積粘土層(下部)	1.46	2,800	0.45	22.2	0	0.35	弾塑性
限界状態パラメータ ²⁾	圧縮指数 λ	膨張指数 κ	限界状態応力比 M	ポアソン比 ν	初期間隙比 e_0	圧密係数 C_v (m ² /day)	
沖積粘土層 I	0.469	0.042	1.2	0.333	2.64	0.0155	

1) $c = c_0 + K \times Z$ 2) 変形解析で使用

件を記す。沖積粘土層の地盤定数は実験からもとめている。埋土と砂層の地盤定数は、実験値とN値から推定した。全応力で解析し、ダイレイタンスは考慮していない。4スパン引抜き時の解析は、解が収束しなかった。

図-6 右上のコンターラインは天端中央部の沈下にとまなう空洞周辺の降伏関数 $F = -1.0$ の領域を表している¹⁾²⁾。当該工事では砂層部分を掘進する。砂層がより多くの鉛直応力を受け持つため、引抜きの当初は極端に沈下量が少ない。地山周辺への影響を考慮すると、引抜きは2スパンが妥当と思われる。また、沈下量 $s = 2.1 \text{ cm}$ の場合でも地盤は安全側にあるが、3スパン引抜くと破壊に接近する領域がかなり広がってくる。よって、施工基準は1日あたり2スパンまでとした。

<参考文献>1)D.J.ネイラー 他：地盤工学における有限要素法, 鹿島出版会 2)小林 正樹：有限要素法による地盤の安定解析, 運輸省港湾技術研究所

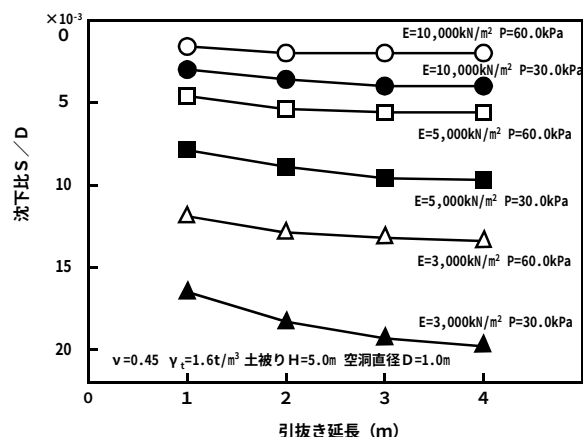


図-4 地下空洞拡大による天端中央部の最大沈下

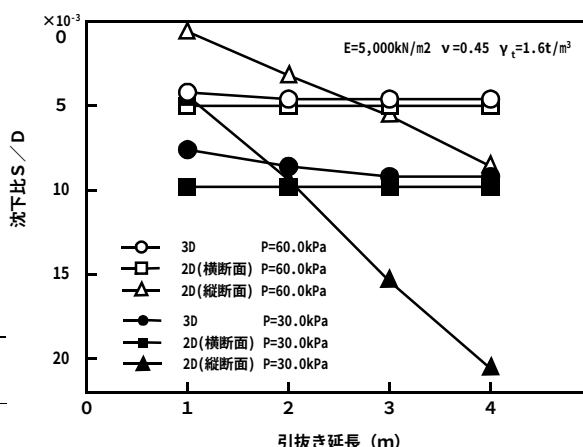


図-5 3Dと2D(横断面と縦断面)の沈下比

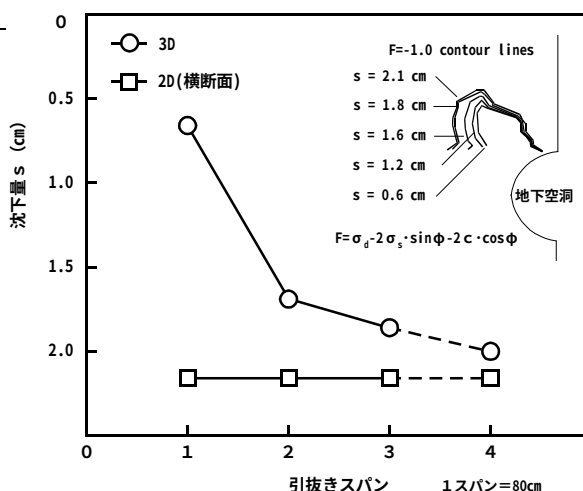


図-6 3Dと2D(横断面)の沈下と塑性領域